

98P 3037

EG 723



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 41 33 013 A 1**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 60 L 11/00**  
B 60 L 15/00  
B 60 K 6/04  
F 02 D 29/06  
F 02 D 45/00  
B 60 K 41/28

21 Aktenzeichen: P 41 33 013.7  
22 Anmeldetag: 4. 10. 91  
43 Offenlegungstag: 8. 4. 93

512

DE 41 33 013 A 1

71 Anmelder:

Mannesmann AG, 4000 Düsseldorf, DE

74 Vertreter:

Klunker, H., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.; Schmitt-Nilson, G.,  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Hirsch, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 8000 München

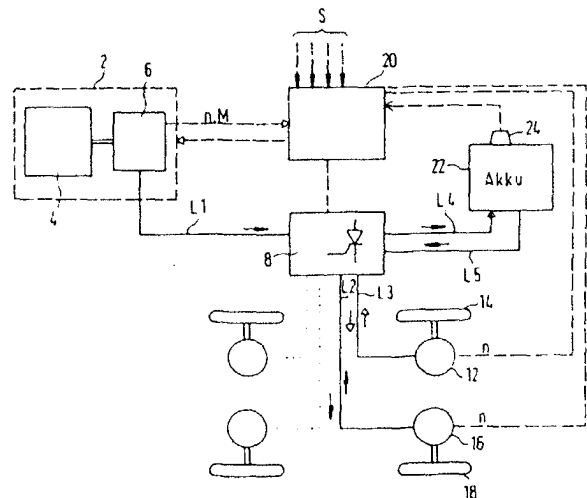
72 Erfinder:

Adler, Uwe, Dipl.-Ing., 8720 Schweinfurt, DE; Drexl,  
Hans-Jürgen, Dr.-Ing., 8724 Schonungen, DE; Lutz,  
Dieter, Dr.-Ing., 8720 Schweinfurt, DE; Nagler, Franz,  
Dipl.-Ing., 8729 Ottendorf, DE; Ochs, Martin,  
Dr.-Ing.; Schiebold, Stefan, Dr.-Ing., 8720  
Schweinfurt, DE; Schmidt-Brücken, Hans-Joachim,  
Dipl.-Phys., 8721 Geldersheim, DE; Thieler,  
Wolfgang, Dipl.-Ing., 8728 Haßfurt, DE; Wagner,  
Michael, Dr.-Ing., 8721 Niederwerrn, DE;  
Westendorf, Holger, Dr.-Ing., 8721 Hambach, DE;  
Wychnanek, Rainer, Dipl.-Wirtsch.-Ing., 8721  
Madenhausen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Nicht-spurgebundenen Fahrzeug mit elektrodynamischem Wandler

57 Ein Kraftfahrzeug enthält eine aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator bestehende Einheit (2), die über eine Energieverteiler-Leistungselektronik (8) Strom an mit Antriebsrädern (14, 18) gekoppelte Elektromotoren (12, 16) liefert. Außerdem ist ein Akkumulator (22) vorgesehen, in den von der Verbrennungsmotor-Generator-Einheit (2) Energie eingespeist wird. Eine elektronische Steuerung (20) steuert den Energieverteiler (8) abhängig von einem Fahrsignal nach Maßgabe von Randbedingungen, z. B. nach Maßgabe eines möglichst niedrigen spezifischen Kraftstoffverbrauchs. Ein vorübergehender erhöhter Leistungsbedarf kann aus dem Akkumulator (22) gedeckt werden. Bei länger anhaltendem erhöhten Energieverbrauch wird der Verbrennungsmotor, der möglichst in einem einen geringen Kraftstoffverbrauch gewährleistenden Betriebszustand arbeitet, hochgefahren, um den erhöhten Leistungsbedarf zu decken. Bei maximaler Leistung des Verbrennungsmotors kann die im Akkumulator (22) gespeicherte Energie für zusätzlichen Schub sorgen.



DE 41 33 013 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein nicht-spurgebundes Fahrzeug, bei dem mindestens ein Rad für den Antrieb mit einem Elektromotor gekoppelt ist, welcher über einen Energieverteiler nach Maßgabe von seitens einer Steuereinheit erzeugten und von einem Fahrsignal abhängigen Steuersignalen mit Strom gespeist wird, der von einem an einen Verbrennungsmotor gekoppelten Generator geliefert wird.

Damit betrifft die Erfindung vornehmlich Personen- und Lastkraftwagen für den Straßenverkehr. Generell werden solche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ausgestattet. Der Anteil von mittels Elektromotor angetriebenen Fahrzeugen ist verschwindend gering.

Bei einem Verbrennungsmotor macht der für den Motor spezifische Drehmomentverlauf in Abhängigkeit der Drehzahl die Verwendung eines Schalt- oder Automatikgetriebes erforderlich, um abhängig von der Belastung und dem gewünschten Fahrverhalten das jeweils erforderliche Drehmoment bzw. die erforderliche Leistung an den Antriebsrädern zur Verfügung zu stellen.

Bei Fahrzeugen mit elektromotorischem Antrieb besteht grundsätzlich nicht das Erfordernis eines Getriebes im Antriebsstrang des Fahrzeugs, da Elektromotoren über einen breiten Drehzahlbereich ein relativ hohes Drehmoment erzeugen, so daß ein Umschalten entfällt.

Es wurde bereits ein nicht-spurgebundes Fahrzeug der obengenannten Art vorgeschlagen, bei dem von einer Verbrennungsmotor-Generator-Einheit (VGE) Strom erzeugt wird, der dann über eine Energieverteiler-Leistungselektronik an die mit den Rädern des Fahrzeugs gekoppelten Elektromotoren gegeben wird. Dabei erfolgt die Einspeisung des Stroms in die Elektromotoren in Abhängigkeit eines als Sollsinal dienenden Fahrsignals unter Berücksichtigung des Betriebsverhaltens des Verbrennungsmotors.

Bei einem solchen Antrieb ergeben sich mehrere Vorteile, die bei einem Antrieb mit üblichem Verbrennungsmotor nicht oder zumindest nur mit erheblichem Aufwand erzielbar sind. Beispielsweise kann ohne großen Aufwand eine Schlupfsteuerung der Räder erfolgen. Bei einem Bremsvorgang können die mit den Rädern gekoppelten Elektromotoren als Generatoren arbeiten. Die gewonnene elektrische Energie kann z. B. zu Heizzwecken oder dergleichen verwendet werden.

Wird ein solches Fahrzeug mit an einen Verbrennungsmotor gekoppeltem Generator und über Elektromotoren angetriebenen Rädern beispielsweise im Stadtverkehr eingesetzt, so muß der Betrieb des Verbrennungsmotors den jeweiligen Leistungsanforderungen entsprechen, d. h. die Drehzahl des Verbrennungsmotors wird so variiert, daß dem jeweils erforderlichen Leistungsbedarf entsprochen wird. Bei häufigem Drehzahlwechsel des Verbrennungsmotors ergibt sich jedoch eine Beeinträchtigung des Wirkungsgrades des Verbrennungsmotors; denn mit dem häufigen Drehzahlwechsel geht naturgemäß ein häufiger Betrieb in einem Bereich des Kennlinienfeldes des Motors einher, in welchem Parameter wie minimaler Kraftstoffverbrauch bei gegebener Leistung, geringste Abgasemission, geringste Geräuschentwicklung und dergleichen einen nicht-optimalen Wert haben.

Es ist bereits vorgeschlagen worden, bei einem Fahrzeug mit Hybridantrieb einen beispielsweise als Schwungrad ausgebildeten Energiespeicher zu verwenden, aus dem im Fall eines plötzlich erhöhten Leistungs-

bedarfs rasch Energie abgezogen werden kann, um das Fahrzeug relativ rasch zu beschleunigen, ohne dabei jedoch sofort die Drehzahl des mit dem Schwungrad gekoppelten Verbrennungsmotors rasch erhöhen zu müssen.

Für Beschleunigungsvorgänge des Fahrzeugs wird dann die zum Beschleunigen erforderliche Energie aus dem Energiespeicher entnommen, während der Verbrennungsmotor weiterhin mit in Grenzen konstanter Drehzahl arbeitet und Energie in den Energiespeicher lädt.

Derartige Hybridfahrzeuge mit Schwungrad-Energiespeicher oder dergleichen sind bislang jedoch nur für sehr spezielle Anwendungszwecke vorgeschlagen worden, so z. B. für Fahrzeuge, die praktisch ausschließlich zu Stadtfahrten eingesetzt werden (z. B. Busse), da das häufige Beschleunigen und Verzögern des Fahrzeugs den Einsatz eines Schwungrad-Energiespeichers attraktiv erscheinen läßt.

Allerdings erscheinen die bislang entwickelten Konzepte für Fahrzeuge der oben angesprochenen Art noch verbesserungsfähig.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein nicht-spurgebundes Fahrzeug der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei Verwendung eines Energiespeichers als zusätzliche Energiequelle neben der durch den Verbrennungsmotor und den Generator gebildeten Einheit die Nutzungsmöglichkeiten des Fahrzeugs erweitert werden.

Gelöst wird diese Aufgabe bei einem nicht-spurgebundenen Fahrzeug der eingangs genannten Art durch folgende Merkmale:

— Es ist ein Energiespeicher vorgesehen, in den und aus dem über den Energieverteiler Energie einspeicherbar bzw. abrufbar ist, und

— für das Einspeisen von Strom in den Elektromotor über den Energieverteiler steuert die Steuereinheit die Entnahme von Energie aus dem Generator und/oder dem Energiespeicher nach Maßgabe vorbestimmter, den Verbrennungsmotor betreffender Randbedingungen.

Bei dem Energiespeicher handelt es sich um einen solchen Speicher, der relativ rasch Energie zur Verfügung stellen kann. Es kann sich grundsätzlich um einen mechanischen Speicher, beispielsweise ein Schwungrad, handeln, bevorzugt wird jedoch ein Akkumulator zum Speichern elektrischer Energie.

Wie eingangs erwähnt, erfolgt bei dem nicht-spurgebundenen Fahrzeug das Einspeisen von Strom in den Elektromotor oder in die Elektromotoren, welche mit den Rädern gekoppelt sind, in Abhängigkeit von einem Fahrsignal. Dieses Fahrsignal wird z. B. von einem "Gashebel" am Fahrzeug erzeugt, ähnlich wie bei einem herkömmlichen Kraftfahrzeug.

Die erfindungsgemäße Steuereinheit ist nun so ausgelegt, daß das Einspeisen von Strom in die Elektromotoren unter Berücksichtigung des durch das Fahrsignal repräsentierten Fahrerwunsches entweder direkt seitens der Verbrennungsmotor-Generator-Einheit, direkt seitens des Energiespeichers oder aber aus beiden Energiequellen erfolgt. Wichtig dabei ist, daß die Steuerung die voreingestellten Randbedingungen berücksichtigt.

Die Randbedingungen betreffen die Optimierung eines oder mehrerer der folgenden Parameter:

a) Kraftstoffverbrauch;

- b) Abgasmenge- und Zusammensetzung;
- c) Geräuschemission; und
- d) Aggregatbeanspruchung.

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich vornehmlich auf den Parameter "Kraftstoffverbrauch", wenn gleich die Erfindung gleichermaßen die übrigen Parameter betrifft. Insbesondere kann man mehrere Parameter berücksichtigen, wobei dann entsprechende Kennlinienfelder des Verbrennungsmotors überlagert oder zusammengefaßt werden. Dabei kann man die einzelnen Parameter gleichstark oder unterschiedlich stark wichten. Berücksichtigt man bei der Vorgabe der Randbedingungen insbesondere die Abgasmenge und Abgaszusammensetzung, so lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Konzept auch in hohem Maße restriktive Umwelt-Auflagen bezüglich der Schadstoffemission erfüllen.

Ein wesentlicher Parameter beim Betrieb eines derartigen Fahrzeugs ist naturgemäß der Kraftstoffverbrauch, so daß auf diesen Parameter im folgenden besonders eingegangen werden soll. Für jeden Verbrennungsmotor gibt es ein Kennlinienfeld, welches z. B. den Verlauf des Drehmoments in Abhängigkeit der Drehzahl darstellt. Es gibt einen Bereich, in dem der sogenannte spezifische Kraftstoffverbrauch am niedrigsten ist. Bezogen auf eine bestimmte Leistung des Motors ergibt sich jeweils bei einer bestimmten Drehzahl und einem bestimmten Drehmoment des Motors ein optimal niedriger Kraftstoffverbrauch. Darüberhinaus gibt es einen Punkt, in dem der spezifische Verbrauch absolut am niedrigsten ist, also der Motor seinen günstigsten Wirkungsgrad besitzt. Bei gegenüber diesem Betriebspunkt niedrigerer Drehzahl ist zwar der Verbrauch noch niedriger, jedoch fällt die Leistung übermäßig stark ab. Bei einer Drehzahl oberhalb des genannten Punkts nimmt die Leistung zwar zu, aber im Vergleich zur Zunahme des Kraftstoffverbrauchs relativ gering. Deshalb sollte — wenn möglich — der Verbrennungsmotor stets in einem Bereich arbeiten, der in der Nähe des Punkts des absolut niedrigsten spezifischen Verbrauchs liegt. Dieses Ziel läßt sich in relativ weiten Grenzen durch die Erfindung realisieren. Abhängig vom Fahrwunsch (der durch das Fahrsignal repräsentiert wird) sieht die erfindungsgemäße Steuerung vor, entweder die Verbrennungsmotor-Generator-Einheit allein, den Energiespeicher allein oder die beiden Energiequellen kombiniert für den Antrieb einzusetzen. Dabei erfolgt die Stromeinspeisung in die Elektromotoren über die Energieverteiler-Leistungselektronik.

Erfindungsgemäß werden die Randbedingungen definiert durch Teilbereiche eines Kennlinienfeldes für den Betrieb des Verbrennungsmotors, wobei dem Energiespeicher ein Zustandssensor zugeordnet ist, der den Ladezustand des Energiespeichers erfaßt. Die Steuereinheit ermittelt anhand des Fahrsignals den Leistungsbedarf des Elektromotors bzw. der Elektromotoren. In Abhängigkeit von dem Leistungsbedarf und dem Ladezustand des Energiespeichers wird der Betrieb des Verbrennungsmotors dann auf einen günstigen Teilbereich des Kennlinienfeldes eingestellt.

Wie oben angedeutet, umfaßt ein erster Teilbereich einen bezüglich mindestens eines Parameters optimalen Betriebszustand, z. B. minimalen Kraftstoffverbrauch bei gegebener Motorleistung. Der Betrieb des Verbrennungsmotors wird dann innerhalb des Teilbereichs gehalten, solange die Leistungsanforderung seitens des Elektromotors in vorgegebenen Grenzen bleibt. Der

Elektromotor wird von dem Generator gespeist. Gegebenenfalls wird überschüssige Energie in den Energiespeicher geladen. In diesem Betriebszustand ist der Wirkungsgrad des Antriebs am höchsten, der Motor arbeitet bei geringstem spezifischem Kraftstoffverbrauch.

Die obere und untere Leistungs- bzw. Drehmomentgrenze für den ersten Teilbereich kann variiert werden, und zwar in Abhängigkeit des Ladezustands des Energiespeichers.

Erhöht sich der Leistungsbedarf so, daß der Leistungsbedarf größer ist als die Leistung, die von der Verbrennungsmotor-Generator-Einheit abgegeben wird, solange diese im Bereich des günstigsten Kraftstoffverbrauchs arbeitet, so sind verschiedene Optionen möglich:

Der Verbrennungsmotor arbeitet weiter im Bereich des günstigsten Kraftstoffverbrauchs. Die zusätzliche Leistung wird aus dem Energiespeicher entnommen. Ist die Leistungsanforderung nur kurzfristig, so bleibt der Verbrennungsmotor in dem Betriebszustand, in dem er den günstigsten Kraftstoffverbrauch aufweist.

Bei längerem erhöhtem Leistungsbedarf, insbesondere dann, wenn ein erhöhter Leistungsbedarf für einen längeren Zeitraum abzusehen ist, wird zunächst zusätzliche Energie aus dem Energiespeicher entnommen, und dann wird die Drehzahl des Verbrennungsmotors erhöht, bis dieser unter Umständen seine maximale Leistung abgibt. In dem Maße, in dem der Verbrennungsmotor die Leistung erhöht, verringert sich die aus dem Energiespeicher entnommene Leistung.

Wenn der Verbrennungsmotor im Bereich sehr hoher Leistung arbeitet und ein zusätzlicher Leistungsbedarf vorhanden ist, z. B. bei einem "Kick-down", arbeitet der Verbrennungsmotor im Bereich höchster Leistung, und zusätzlich wird dem Energiespeicher Energie entzogen, um das Fahrzeug noch stärker zu beschleunigen. Hierbei ist darauf zu achten, daß die aus dem Energiespeicher entnommene zusätzliche Leistung nur zeitlich beschränkt zur Verfügung steht. Durch geeignete Beschränkung der Leistungsentnahme aus dem Energiespeicher läßt sich erreichen, daß z. B. ein Überholvorgang sicher innerhalb einer bestimmten Zeitspanne mit sehr hoher Leistung, d. h. Beschleunigung, durchgeführt werden kann.

Theoretisch ist noch der Betriebszustand möglich, daß die gesamte in den Elektromotor eingespeiste Leistung aus dem Energiespeicher entnommen wird.

Wenn der Leistungsbedarf des Fahrzeugs geringer ist als die Leistung, die der Verbrennungsmotor im Bereich günstigsten Kraftstoffverbrauchs liefert, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß der Verbrennungsmotor intermittierend betrieben wird, d. h. abwechselnd eingeschaltet wird, um im Bereich des günstigsten Kraftstoffverbrauchs zu arbeiten, und zwischenzeitlich abgeschaltet wird. Diese Fahrweise ist insbesondere bei Stadtfahrten günstig, da nicht nur ein sehr günstiger Kraftstoffverbrauch erreicht wird, sondern gleichzeitig auch eine verringerte Schadstoffemission erzielbar ist. Die jeweils erforderliche Leistung zum Antreiben des Fahrzeugs wird aus dem Speicher entnommen und ein den Ladezustand des Energiespeichers überwachender Sensor signalisiert, wann der Verbrennungsmotor zum Aufladen des Energiespeichers gestartet werden muß.

Der oben angesprochene Fall, daß der Verbrennungsmotor hochgefahren wird und bis zum Erreichen der Maximalleistung der zusätzliche Leistungsbedarf aus dem Energiespeicher abgedeckt wird, wird in Verbindung mit beispielsweise einem Zeitglied realisiert. Wenn

der erhöhte Leistungsbedarf länger als eine vorbestimmte Zeitspanne anhält, wird, nachdem zunächst die zusätzliche Leistung aus dem Energiespeicher entnommen worden ist, der Motor hochgefahren. Der Zeitpunkt des Hochfahrens des Verbrennungsmotors hängt auch ab vom Speicherzustand. Man kann außerdem in der Steuereinheit ein Lernprogramm vorsehen, welches beispielsweise die Häufigkeit speichert, mit der durchschnittlich über eine relativ lange Zeitspanne ein erhöhter Leistungsbedarf vorhanden ist. Ist diese Häufigkeit sehr groß, so kann der Verbrennungsmotor schon nach Ablauf jeweils einer sehr kurzen Zeitspanne hochgefahren werden, weil dann abzusehen ist, daß mit hoher Wahrscheinlichkeit ein länger anhaltender höherer Leistungsbedarf gegeben ist.

Die erfindungsgemäße Anordnung gestattet auch das Nutzen von Bremsenergie über den Energieverteiler.

Beim Bremsen arbeiten die Elektromotoren als Generatoren und speisen über die Energieverteiler-Leistungselektronik elektrische Energie in den Energiespeicher zurück. Gleichzeitig oder alternativ kann man die Bremsenergie auch mit einem Heizwiderstand zum Heizen verwenden.

Die Auswahl einer der oben angesprochenen Varianten hängt zum Teil sehr stark vom Ladezustand und auch von der Kapazität des Energiespeichers ab. Um gefährliche Situationen, insbesondere bei Überholvorgängen, zu vermeiden, ist es zweckmäßig, die Energieentnahme aus dem Speicher zu überwachen und anzuzeigen, so daß der Fahrer rechtzeitig darüber informiert wird, daß der Speicher zum größten Teil erschöpft ist.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines Kraftfahrzeugs mit elektrodynamischem Wandler und als Akkumulator ausgebildetem Energiespeicher;

Fig. 2 ein Kennlinienfeld eines 100-kW-Verbrennungsmotors; und

Fig. 3 eine schematische Darstellung möglicher Betriebszustände des Fahrzeugantriebs.

Fig. 1 zeigt schematisch die hier wesentlichen Teile eines Personenkraftwagens.

Eine im folgenden mit "VGE" abgekürzte Verbrennungsmotor-Generator-Einheit 2 enthält einen Verbrennungsmotor 4 und einen mit dessen Ausgangswelle starr gekoppelten Generator 6. Die von dem Generator 6 erzeugte elektrische Leistung wird über eine Leitung L1 auf eine als Energieverteiler 8 fungierende Leistungselektronik-Einheit gegeben, die über Leitungen L2 und L3 elektrischen Strom in zwei Elektromotoren 12 bzw. 16 einspeist, die mit jeweils einem Hinterrad 14 bzw. 18 des Fahrzeugs gekoppelt sind.

In Fig. 1 ist links unten angedeutet, daß auch die beiden anderen Fahrzeugräder über Elektromotoren angetrieben werden können.

Das Einspeisen von Strom in die Elektromotoren 12 und 16 seitens des Energieverters 8 wird von einer Steuereinheit 20 gesteuert, die von der VGE 2 Signale bezüglich Drehzahl und Drehmoment empfängt, die von den Elektromotoren 12 und 16 Signale bezüglich der Drehzahlen dieser beiden Motoren empfängt und die außerdem Sensorsignale S von hier nicht mehr dargestellten Sensoren empfängt. Ein derartiges Sensorsignal ist z. B. ein Fahrhebel-Stellungssignal, welches kennzeichnend ist für die jeweilige Winkelstellung des Fahrpedals ("Gashebel"). Ein weiteres von der Steuereinheit 20 empfangenes Sensorsignal ist z. B. ein Geschwindigkeitssignal, welches von einer Tachowelle des

Fahrzeugs geliefert wird. Weiterhin kommen als Sensorsignale ein Bremssignal, ein Beschleunigungssignal, ein Kaltlauf/Warmlauf-Signal und dergleichen in Betracht.

Die Steuereinheit 20 enthält einen Mikroprozessor und eine Speichereinheit, die Steuerprogramme und Datenwerte von Kennlinienfeldern und dergleichen speichert.

Wenn der Fahrer des Fahrzeugs das Fahrpedal betätigt, wird das Stellungssignal als Sensorsignal S an die Steuereinheit 20 geliefert. Die Steuereinheit 20 kann daraus durch Differenzenbildung ein Geschwindigkeitssignal für die Fahrhebelbetätigung ermitteln. Außerdem kann ein Beschleunigungssignal für den Fahrhebel ermittelt werden. Anhand dieser Daten läßt sich auf den jeweiligen Fahrerwunsch rückschließen. Bei hoher Fahrhebel-Geschwindigkeit ist z. B. eine hohe Beschleunigung erwünscht, und zwar, falls der Fahrhebel vollständig oder fast vollständig durchgedrückt ist, bis zu einer relativ hohen Endgeschwindigkeit.

Die Steuereinheit 20 setzt diese Signale mittels Steuerprogrammen um in Steuersignale, die auf den Energieverteiler 8 gegeben werden. In Fig. 1 sind Energieübertragungsleitungen ausgezogen, Signalübertragungsleitungen gestrichelt dargestellt. Abhängig von den Steuersignalen liefert dann der Energieverteiler an die beiden Elektromotoren 12 und 16 einen Strom, so daß der Antrieb in der vom Fahrer gewünschten Weise erfolgt.

Als besonderes Merkmal besitzt das Fahrzeug einen Energiespeicher, der hier als Akkumulator 22 zum Speichern elektrischer Energie ausgelegt ist. Der Akkumulator ist über zwei elektrische Leitungen L4 und L5 mit dem Energieverteiler 8 verbunden, so daß über die Leitung L4 Energie in den Akkumulator eingespeichert und über die Leitung L5 Energie aus dem Akkumulator entnommen wird.

Der Energieverteiler 8 ist in für den Fachmann prinzipiell bekannter Weise derart ausgestaltet, daß die Energie, die den Elektromotoren 12 und 16 zugeführt wird, wahlweise über die Leitung L1, also von der VGE, und/oder über die Leitung L5, also von dem Energiespeicher 22, geliefert wird.

Ein Sensor 24 signalisiert der Steuereinheit 20 den jeweiligen Ladezustand des Energiespeichers 22.

Fig. 2 zeigt ein typisches Kennlinienfeld eines 100-kW-Ottomotors. Auf der Ordinate sind Drehmomentwerte, auf der Abszisse Drehzahlen aufgetragen. Eine dickgestrichelte Linie  $b_v$  kennzeichnet den jeweils für bestimmte Drehzahlen günstigsten Verbrauch bei unterschiedlichen Leistungsanforderungen. Diese Linie  $b_v$  ist in drei, in Fig. 2 schraffiert dargestellte Bereiche unterteilt, nämlich in einen mittleren Bereich A, einen oberen Bereich B und einen unteren Bereich C.

Der mittlere Bereich A liegt in einem durch eine "Höhenlinie" umschlossenen Bereich, in welchem ein bestimmter spezifischer Verbrauch des Motors gegeben ist. Dieser Bereich (Muschel) ist derjenige Bereich, in welchem der Motor möglichst arbeiten sollte, um insgesamt einen hohen Wirkungsgrad, also einen geringen spezifischen Verbrauch des Motors zu erzielen.

Der obere Bereich B ist gekennzeichnet durch höhere Drehzahlen und höheres Drehmoment (und mithin höhere Leistung, da sich die Leistung aus dem Produkt von Drehzahl und Drehmoment ergibt). Der untere Bereich C ist gekennzeichnet durch eine sehr niedrige Drehzahl bei niedrigem Drehmoment bzw. niedriger Leistung.

Innerhalb der Speichereinheit sind z. B. in Tabellen-

form die Kennwerte des Verbrennungsmotors gespeichert. Die in Fig. 2 dargestellten Bereiche A, B, C bilden Randbedingungen für den Betrieb der gesamten Antriebseinheit des Fahrzeugs. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein möglichst geringer Kraftstoffverbrauch, also insgesamt ein möglichst geringer Energiebedarf angestrebt, wobei jedoch dem jeweiligen Fahrwunsch weitestgehend Rechnung getragen werden soll. Das heißt: Falls der Fahrer eine sehr hohe Beschleunigung des Fahrzeugs wünscht, wird diesem Wunsch nachgekommen, wobei jedoch die Einspeisung des Stroms in die Elektromotoren 12 und 16 unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen wahlweise seitens der VGE2 und/oder des Energiespeichers 22 erfolgt.

Bezugnehmend auf Fig. 2 bedeutet ein möglichst geringer Energieaufwand, daß der Motor möglichst im Bereich A, und zwar am Punkt  $b_{\min}$  betrieben wird, d. h. am Punkt des absolut niedrigsten spezifischen Verbrauchs. In Fig. 2 erstreckt sich der Bereich A in Richtung der Ordinate über einen gewissen Drehmomentbereich. Dies deutet an, daß die Linie  $b_v$  des günstigsten Verbrauchs für unterschiedliche Leistungsanforderungen auch in gewissen Grenzen verlassen werden kann. Voraussetzung dafür ist es, daß der Wirkungsgrad der VGE immer noch größer ist als der Speicherwirkungsgrad. Würde man, um den Motor möglichst nahe beim Punkt  $b_{\min}$  zu betreiben, bei jeder erhöhten Leistungsanforderung die zusätzliche Leistung aus dem Speicher entnehmen, so wäre der durch das Umspeichern unvermeidliche Energieverlust möglicherweise höher als die Differenz zwischen dem optimalen Wirkungsgrad und dem durch Verlassen der Linie  $b_v$  definierten verschlechterten Wirkungsgrad.

Grundsätzlich wird im Bereich A der Leistungsbedarf der Elektromotoren 12 und 16 direkt von der VGE gedeckt, solange deren Wirkungsgrad höher ist als der Speicherwirkungsgrad. Der Speicherwirkungsgrad ist das Verhältnis der vom Speicher an die Elektromotoren abgegebene Energie  $E_{\text{aus}}$ , bezogen auf die zur Speicherung aufzubringende Energie  $E_{\text{ein}}$ :

$$\eta_{\text{Akku}} = \frac{E_{\text{aus}}}{E_{\text{ein}}} \quad (1)$$

Die zur Speicherung einer Energiemenge aufzubringende Energie  $E_{\text{ein}}$  umfaßt die geladene Energie, die für den Speichervorgang aufzubringende Energie und die zum Entladen des Speichers auszubringende Energie.

Der Wirkungsgrad der VGE stellt sich dar als das Produkt aus dem Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors und dem Wirkungsgrad des Generators:

$$\eta_{\text{VGE}} = \eta_{\text{Verb.-Mot}} \cdot \eta_{\text{Gen}} \quad (2)$$

Die direkte Deckung des Leistungsbedarfs seitens der VGE erfolgt also unter der Bedingung:

$$\eta_{\text{VGE}} \geq \eta_{\text{Akku}} \quad (3)$$

Wie weit die Grenzen des Bereichs A gezogen werden, hängt ab vom Ladungszustand des Energiespeichers 22. Bei vollem Speicher können die Grenzen relativ weit gesteckt werden. In der Steuereinheit werden beispielsweise Grenzwerte für den Bereich A gespeichert, und diese Grenzwerte können mit einem Faktor multipliziert werden, der von dem Ladungszustand des

Energiespeichers 22 abhängt. Dieser Ladungszustand wird über den Sensor 24 der Steuereinheit 20 mitgeteilt.

Wenn der Antrieb im Bereich A arbeitet und die Elektromotoren 12, 16 etwas weniger Energie anfordern, als der Verbrennungsmotor im günstigsten Betriebszustand abgibt, wird die überschüssige Ladung über den Energieverteiler 8 in den Energiespeicher 22 eingespeichert.

Wenn nun der Leistungsbedarf der Elektromotoren 12, 16 steigt, z. B. dadurch, daß sich das Fahrzeug an einer Steigung befindet oder der Fahrer das Fahrzeug beschleunigen möchte, so ergibt sich die in Fig. 3a dargestellte Möglichkeit, daß die VGE bei im wesentlichen konstanter Drehzahl in der Nähe des verbrauchsgünstigen Punkts  $b_{\min}$  arbeitet, während der zusätzliche Leistungsbedarf aus dem Energiespeicher 22 gedeckt wird. In Fig. 3a ist dies dadurch angedeutet, daß sowohl die VGE2 als auch der Energiespeicher (Akku) 22 über die Leitungen L1 bzw. L5 an den Energieverteiler 8 aktiv angeschlossen sind. Rechts in Fig. 3a ist der von der Zeit abhängige Leistungsbedarf dargestellt. Der obere Bereich ist schraffiert dargestellt und kennzeichnet die von dem Energiespeicher 22 gelieferte Energie pro Zeiteinheit. Diese Energie ergänzt die von der VGE2 gelieferte Energie, so daß der Sollwert  $P_{\text{soll}}$  erreicht wird.

Der in Fig. 3a dargestellte Zustand ist sinnvoll, wenn kurzzeitige erhöhte Leistungsanforderungen seitens der Elektromotoren 12, 16 bestehen.

Fig. 3b zeigt ein Betriebsverhalten, welches zunächst dem Zustand nach Fig. 3a entspricht, d. h. zunächst wird die von der im optimalen Betriebszustand laufenden VGE2 gelieferte Energie bis auf den Wert  $P_{\text{soll}}$  durch Energie aus dem Energiespeicher 22 ergänzt. Von einem Zeitpunkt  $t_x$  an wird jedoch die Drehzahl des Verbrennungsmotors erhöht. In dem Maße, in dem mehr Energie direkt von der VGE2 an die Elektromotoren 12, 16 geliefert wird, verringert sich der aus dem Energiespeicher 22 zusätzlich aufgebrauchte Anteil.

Der Zeitpunkt  $t_x$  kann beispielsweise durch ein Zeitglied festgelegt werden. Wenn eine erhöhte Leistungsanforderung entsteht, wird ein Zeitglied innerhalb der Steuereinheit 20 gestartet. Besteht die Leistungsanforderung noch, wenn die durch das Zeitglied festgelegte Zeitspanne abgelaufen ist, so wird dann die VGE2 hochgefahren. Diese Maßnahme ist deshalb zweckmäßig, weil die aus dem Energiespeicher 22 entnommene Energie sich erschöpft und verhindert werden muß, daß sich der Energiespeicher 22 übermäßig stark entlädt.

Die Zeitspanne bis zum Hochfahren der VGE2 kann abhängig vom Ladungszustand des Energiespeichers 22 variiert werden. Das Hochfahren der VGE2 kann auch davon abhängig gemacht werden, mit welcher Häufigkeit relativ lange anhaltende zusätzliche Leistungsanforderungen auftreten. Hierzu kann die Steuereinheit 20 die Situationen zählen, die dem in Fig. 3b dargestellten Betriebsverhalten entsprechen. Treten innerhalb einer Zeitspanne von beispielsweise 10 Minuten oder 30 Minuten mehrmals relativ längere erhöhte Leistungsanforderungen auf, so kann der Zeitpunkt  $t_x$  in Fig. 3b mehr nach links verschoben werden, da die Steuerung "weiß", daß mit hoher Wahrscheinlichkeit eine längere erhöhte Leistungsanforderung anstehen wird.

Fig. 3c zeigt den Zustand, daß die VGE2 maximale Leistung abgibt, das Fahrpedal also fast vollständig durchgedrückt ist. Wenn nun z. B. ein "Kick-down" im Zeitpunkt  $t_1$  erfolgt, wird zusätzlich der Energiespeicher angezapft, so daß vom Zeitpunkt  $t_1$  an über die Leitung L5 ebenfalls Energie geliefert wird. Wenn die

VGE2 praktisch Höchstleistung abgibt, läßt sich durch die Maßnahme also noch ein zusätzlicher Schub erreichen. Ein solcher zusätzlicher Schub kann dann sinnvoll sein, wenn z. B. ein Überholvorgang stattfindet, insbesondere ein Überholvorgang an einer Steigung.

Allerdings muß beachtet werden, daß der in Fig. 3c dargestellte Zustand ab dem Zeitpunkt t1 nur beschränkt möglich ist, da sich der Energiespeicher 22 fortwährend entlädt. Mittels einer Warnanzeige kann dem Fahrer signalisiert werden, wie lange der Zustand besonders großer Beschleunigung noch aufrechterhalten werden kann. Der Fahrer kann sich dann entsprechend verhalten.

Die in den Fig. 3a, 3b und 3c dargestellten Situationen entsprechen einem Betrieb des Bereichs B, also einem Zustand erhöhter Leistungsanforderung. Gemäß Fig. 3a lohnt es sich nicht, den Betrieb der VGE2 hochzufahren, so daß ein kurzer zusätzlicher Leistungsbedarf aus dem Energiespeicher 22 gedeckt wird.

Gemäß Fig. 3b würde sich bei länger anhaltendem Speicherbetrieb der Speicher zu schnell entladen.

Gemäß Fig. 3c erfolgt eine zusätzliche "Leistungsspritze", um z. B. eine erhöhte Beschleunigung zu erzielen.

Gemäß Fig. 3d ist mit dem Energieverteiler 8 lediglich der Energiespeicher 22 über die Leitung L5 verbunden. Dieser Zustand kann sowohl dem Bereich B als auch dem Bereich C entsprechen. Bei sehr hoher Leistungsanforderung kann die gesamte Leistung aus dem Akkumulator entnommen werden. Dieser Zustand ist jedoch in der Praxis kaum interessant. Interessant hingegen ist der Betrieb im Bereich C, d. h. in einem Bereich, in dem im optimalen Betriebszustand laufende Verbrennungsmotor wesentlich mehr Energie an den Generator liefern würde, als die Elektromotoren 12, 16 benötigen. In diesem Fall wird die VGE2 vollständig abgeschaltet, und es erfolgt ein Antrieb ausschließlich durch Speisung aus dem Energiespeicher 22. Diese Fahrweise ist insbesondere im dichten Stadtverkehr, bei Staus und dergleichen günstig. Wenn sich der Energiespeicher 22 bis zu einem gewissen Grad entladen hat, kann der Motor wieder eingeschaltet werden.

Die in Fig. 3e dargestellte Situation entspricht dem Bereich A des Kennlinienfeldes. Die gesamte Leistung wird direkt von der VGE2 zur Verfügung gestellt. Mögliche überschüssige Energie wird von der VGE2 über den Energieverteiler 8 in den Energiespeicher 22 eingespeist.

Das oben beschriebene Ausführungsbeispiel bezieht sich speziell auf den Parameter "Kraftstoffverbrauch". Die Steuerung der Stromeinspeisung in die Elektromotoren 12 und 16 aus der VGE2 und/oder dem Energiespeicher 22 erfolgt nach Maßgabe eines möglichst geringen Energieverbrauchs. Alternativ dazu oder zusätzlich können auch andere Betriebsparameter maßgeblich für die Steuerung sein. Insbesondere sind hier die Abgasmenge und die Abgaszusammensetzung zu erwähnen, da durch eine solche Steuerung mit relativ einfachen Mitteln die Schadstoffemission durchschnittlich auf einem sehr geringen Wert gehalten werden kann.

Darüber hinaus kann als Betriebsparameter auch die Geräuschemission und/oder die Aggregatbeanspruchung zugrundegelegt werden. Die Aggregatbeanspruchung ist dann besonders hoch, wenn eine "sportliche" Fahrweise bevorzugt ist. Aufgrund häufiger hoher Drehzahlen und häufiger Lastwechsel werden die mechanisch bewegten Teile besonders beansprucht. Man kann die Steuerung so auslegen, daß zu häufige und

starke Lastwechsel vermieden werden. Die verschiedenen Betriebsparameter können auch gemeinsam, jeweils mit einem bestimmten Gewicht behaftet, in die Steuerung eingehen.

Die Realisierung der verschiedenen Steuerungsmöglichkeiten erfordert keinen nennenswerten Aufwand. Insbesondere ist weder ein zusätzlicher Bauraum für voluminöse zusätzliche Teile des Antriebs erforderlich, noch muß eine Gewichtszunahme in Kauf genommen werden. Im Stadtverkehr sowie im sogenannten "Stop-and-go"-Verkehr ist eine umweltschonende Fahrweise möglich, wobei auf langen Strecken dennoch ein Fahrverhalten erzielt werden kann, welches demjenigen herkömmlicher Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor nicht nachsteht.

#### Patentansprüche

1. Nicht-spurgebundes Fahrzeug, bei dem mindestens ein Rad (14, 18) für den Antrieb mit einem Elektromotor (12, 16) gekoppelt ist, welcher über einen Energieverteiler (8) nach Maßgabe seitens einer Steuereinheit (20) erzeugten und von einem Fahrsignal abhängigen Steuersignal mit Strom gespeist wird, der von einem an einen Verbrennungsmotor (4) gekoppelten Generator (6) geliefert wird, gekennzeichnet durch die Merkmale:

- Es ist ein Energiespeicher (22) vorgesehen, in den und aus dem über den mit einer Leistungselektronik ausgestatteten Energieverteiler Energie einspeicherbar bzw. abrufbar ist, und
- für das Einspeisen von Strom in den Elektromotor (12, 16) über den Energieverteiler (8) steuert die Steuereinheit (20) die Entnahme von Energie aus dem Generator (6) und/oder dem Energiespeicher (22) nach Maßgabe vorbestimmter, den Verbrennungsmotor betreffender Randbedingungen.

2. Fahrzeug nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Randbedingungen die Optimierung mindestens eines der folgenden Parameter betreffen:

- a) Kraftstoffverbrauch;
- b) Abgasmenge und Abgaszusammensetzung;
- c) Geräuschemission; und
- d) Aggregatbeanspruchung.

3. Fahrzeug nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Energiespeicher als Akkumulator (22) ausgebildet ist.

4. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Randbedingungen in einen der Steuereinheit (20) zugehörigen Speicher in Form von Kennlinienwerten abgespeichert sind.

5. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß verschiedene Randbedingungen gleichzeitig und mit definierten Gewichten berücksichtigt werden.

6. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Randbedingungen definiert sind durch Teilbereiche (A, B, C) eines Kennlinienfeldes für den Betrieb des Verbrennungsmotors (4), daß dem Energiespeicher (22) ein Zustandssensor (24) zugeordnet ist, der den Ladezustand des Energiespeichers (22) erfaßt, daß die Steuereinheit (20) anhand des Fahrsignals den Lei-

stungsbedarf des Elektromotors (16, 16) ermittelt, und daß die Steuereinheit (20) abhängig von dem Leistungsbedarf des Elektromotors und dem Ladezustand des Energiespeichers (22) den Betrieb der aus Verbrennungsmotor und Generator bestehenden Einheit (2) auf einen der Teilbereiche einstellt.

7. Fahrzeug nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein erster Teilbereich (A) einen bezüglich mindestens eines Parameters optimalen Betriebszustand ( $b_{e_{min}}$ ) umfaßt, insbesondere einen minimalen Kraftstoffverbrauch bei gegebener Motorleistung, und daß der Betrieb der aus Verbrennungsmotor und Generator bestehenden Einheit (2) innerhalb dieses Teilbereichs (A) gehalten wird, solange die Leistungsanforderung seitens des Elektromotors (12, 16) in vorgegebenen Grenzen bleibt, während der Elektromotor von dem Generator gespeist wird und gegebenenfalls überschüssige Energie in den Energiespeicher (22) geleitet wird.

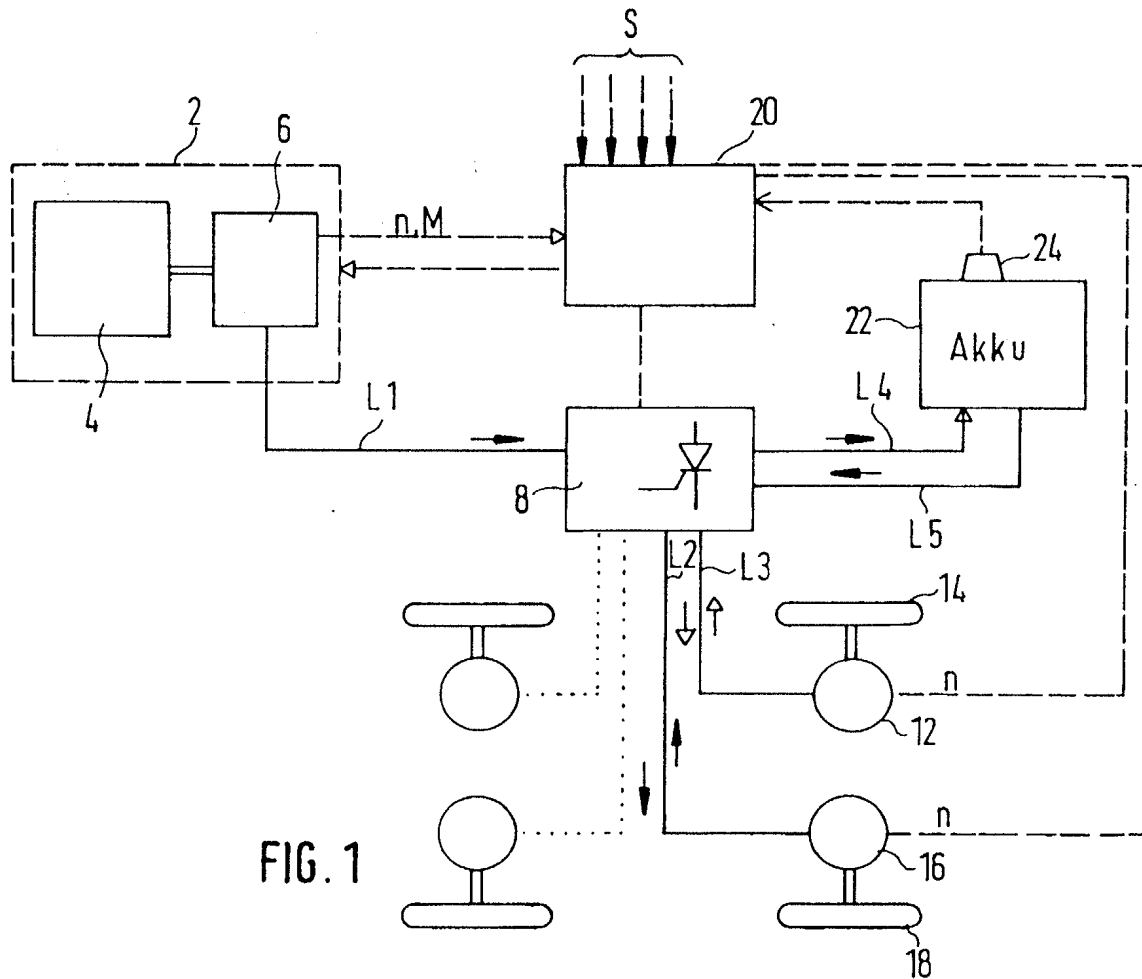
8. Fahrzeug nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebenen Grenzen in Abhängigkeit des Ladezustands des Energiespeichers (22) variierbar sind.

9. Fahrzeug nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch einen zweiten, vom ersten Teilbereich verschiedenen Teilbereich (B) des Kennlinienfeldes, welcher einem Leistungsbedarf des Elektromotors (12, 16) entspricht, der höher ist als die im optimalen Betriebszustand des Verbrennungsmotors erzeugte Leistung, wobei eine der folgenden Varianten für die Steuerung der Stromeinspeisung in den Elektromotor (12, 16) ausgewählt wird:

- Bei optimalem Betriebszustand des Verbrennungsmotors (4) wird die Differenz zwischen der Leistung des Verbrennungsmotors und dem aktuellen Leistungsbedarf konstant aus dem Energiespeicher gedeckt;
- die Drehzahl des Verbrennungsmotors wird erhöht, bis der Verbrennungsmotor den aktuellen Leistungsbedarf deckt, und in der Zwischenzeit erfolgt eine Leistungsergänzung seitens des Energiespeichers (22);
- bei maximalem Leistungsbedarf erfolgt bei maximaler Leistung des Verbrennungsmotors (4) eine zusätzliche Energieentnahme aus dem Energiespeicher (22); oder
- die gesamte Energie wird aus dem Energiespeicher (22) entnommen.

10. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß dann, wenn der Leistungsbedarf des Elektromotors (12, 16) im Mittel niedriger ist als die von dem Verbrennungsmotor (4) bei optimalem Betriebszustand abgegebene Leistung, der Energiespeicher (22) aufgeladen wird, oder falls ein vorgegebener Ladezustand überschritten ist, der Verbrennungsmotor vorübergehend abgeschaltet wird, so daß er intermittierend im optimalen Betriebszustand arbeitet.

11. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom dann direkt von dem Generator (6) über den Energieverteiler an den Elektromotor (12, 16) zugeliefert wird, wenn der Wirkungsgrad der aus Verbrennungsmotor und Generator bestehenden Einheit (2) größer ist als der Speicherwirkungsgrad.





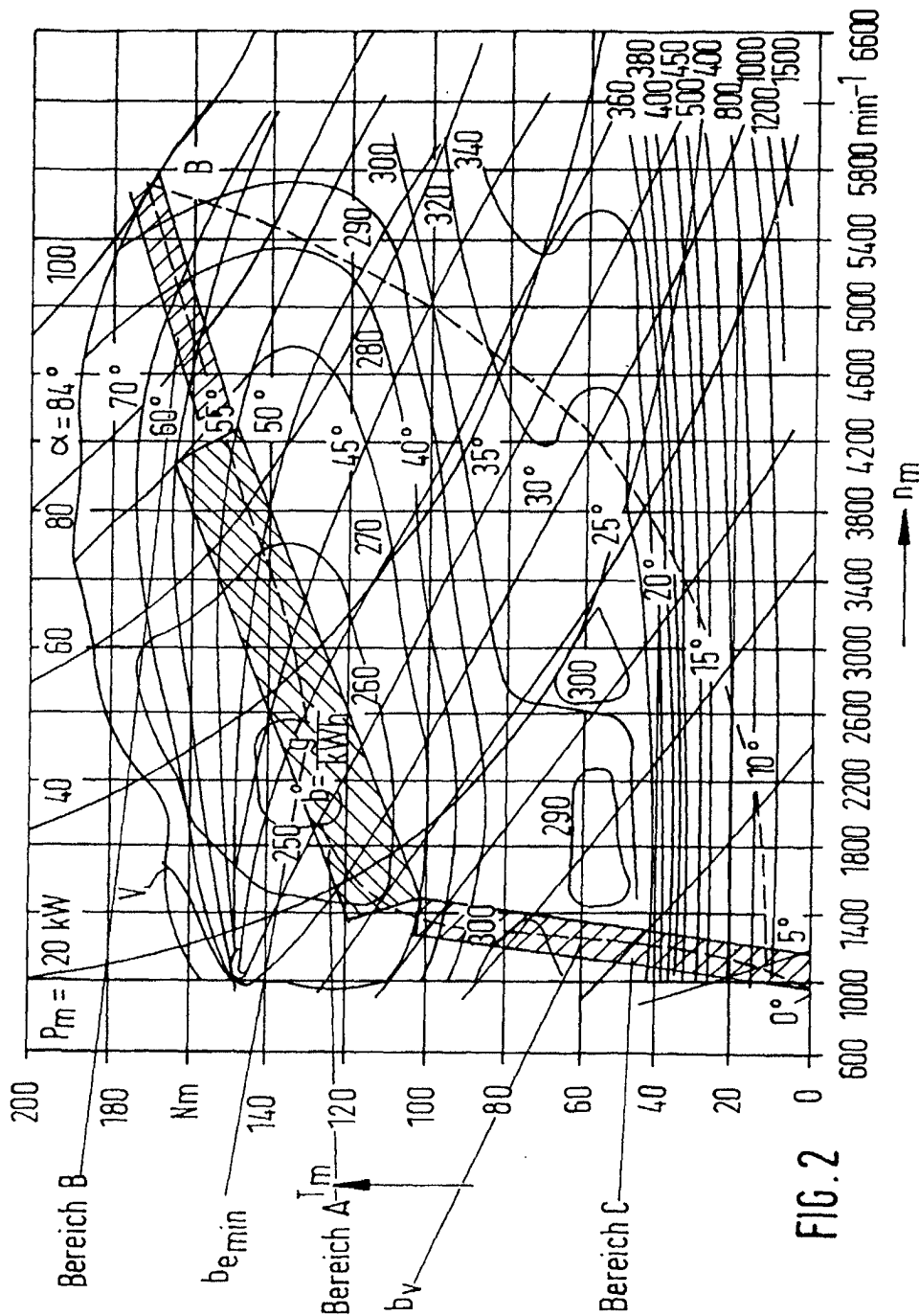


FIG. 3

